

PENGARUH PENEMPATAN ARAH KOLOM PADA BANGUNAN BERTINGKAT BANYAK DENGAN DENAH L TERHADAP KEKAKUAN STRUKTUR

Chanif Fachriza¹, Atika Ulfah Jamal²

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia^{1,2}

Jl. Kaliurang km 14.5, Sleman, Yogyakarta 55584, Indonesia
E-mail: fachriza03@gmail.com

ABSTRAK

Kolom merupakan elemen yang penting dalam sebuah struktur gedung karena jika terjadi keruntuhan pada kolom dapat menyebabkan keruntuhan total dari keseluruhan bangunan. Pada perencanaan kolom banyak kemungkinan variasi bentuk penampang dan penempatan yang bisa digunakan. Faktor konfigurasi struktur gedung berhubungan dengan denah juga dapat mempengaruhi perilaku struktur selama terjadinya gempa. Oleh karena itu, perlu ditinjau nilai kekakuan efektif pada bangunan bertingkat banyak dengan denah L dengan penempatan arah kolom yang dibedakan.

Pada penelitian ini, dimodelkan empat buah bangunan denah berbentuk L, masing-masing menggunakan penampang kolom persegi panjang dan bujur sangkar. Model 1 menggunakan penampang kolom persegi panjang ditempatkan memanjang pada arah X sumbu global, model 2 menggunakan kolom persegi panjang ditempatkan memanjang pada arah Y sumbu global, model 3 menggunakan kolom persegi panjang ditempatkan kombinasi, dan model 4 menggunakan kolom bujur sangkar. Pemodelan dilakukan pada program ETABS 2013 untuk kemudian akan dibandingkan nilai kekakuan efektif struktur dari hasil *pushover analysis* berdasarkan metode FEMA 440.

Hasil analisis disimpulkan model yang memiliki nilai kekakuan paling besar pada arah x adalah model 1 sebesar 67150,625 kN/m, sedangkan pada arah y paling besar adalah model 2 sebesar 58022,272 kN/m, hal ini berkaitan dengan arah memanjang penampang kolom memberikan nilai kekakuan yang besar pada struktur. Pada model 3 menunjukkan kekakuan secara optimal pada kedua arah dengan nilai kekakuan pada arah x sebesar 59090,788 kN/m pada arah y sebesar 55111,289 kN/m, artinya tidak besar di satu arah tetapi juga tidak kecil di arah lainnya. Pada model 4 kekakuan pada arah x sebesar 62162,726 kN/m arah y sebesar 53578,25 kN/m.

Kata kunci: *pushover*, kurva kapasitas, kekakuan, inersia

ABSTRACT

Columns are an important element in a building structure because if a collapse occurs in the column it can cause a total collapse of the entire building. In column design, there are many possible variations in cross-section shape and placement that can be used. Configuration factors for building structures related to floor plans can also influence the behavior of structures during an earthquake. Accordingly, it is necessary to review the value of structural stiffness in multy-storey L-shaped buildings with a distinguished of column placement direction.

In this study, four L-shaped planes were modeled, each using a rectangular and square column cross section. Model 1 uses a rectangular column cross-section placed lengthwise in the direction of the global axis X, model 2 uses a rectangular column placed lengthwise in the direction of the global axis Y, model 3 uses a rectangular column placed combination, and model 4 uses a square column. Modeling was carried out on the 2013 ETABS program and then compared the effective stiffness value of the structure from the results of pushover analysis based on the FEMA 440 method.

The results of the analysis concluded that the model that has the greatest stiffness value in the direction of x is model 1 at 67150,625 kN / m, while in the direction of y the largest is model 2 at 58022,272 kN / m, this is related to the placement of longitudinal section of column will give a large stiffness value in the structure. In model 3 shows optimal stiffness in both directions with stiffness values in the x-direction of 59090.788 kN / m in the direction y of 55111,289 kN / m, meaning that it is not large in one direction but also not small in the other direction. In model 4 the stiffness in the direction of x is 62162,726 kN / m in the y-direction of 53578.25 kN / m.

Keywords: *pushover*, capacity curve, stiffness, inertia.

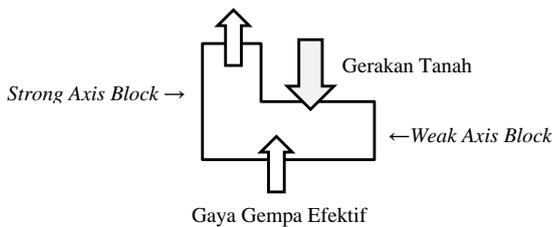
PENDAHULUAN

Proses perencanaan struktur gedung tahan gempa tidak lepas dari konsep kolom kuat balok lemah, dimana sendi plastis direncanakan terjadi di balok untuk meratakan energi gempa yang masuk, sehingga kapasitas kolom lebih kuat dari balok. Kapasitas kolom dipengaruhi oleh kombinasi beban aksial dan momen inersia yang bekerja pada penampang kolom.

Pada perencanaan kolom banyak kemungkinan variasi bentuk penampang dan penempatan yang digunakan. Asroni (2010) menyatakan kolom bersengkang persegi panjang dan bujur sangkar merupakan jenis kolom yang paling banyak digunakan karena pelaksanaan yang mudah dan harga pembuatannya murah. Dengan variasi bentuk penampang dan penempatan kolom maka memberikan pengaruh yang berbeda terhadap nilai momen inersia.

Selain struktur kolom dan mekanisme penyaluran gaya-gaya dalam, faktor konfigurasi struktur gedung secara keseluruhan dapat mempengaruhi perilaku struktur selama terjadinya gempa. Fransisca (2016) menyatakan saat ini struktur gedung dengan ketidak beraturan (*irregular*) konfigurasi menjadi salah satu pilihan guna mengatasi permasalahan terbatasnya lahan yang tersedia dalam lingkup perkotaan, Sebagai contoh dari ketidak beraturan tersebut adalah konfigurasi dengan denah berbentuk L.

Menurut Widodo (2012) Struktur *irregular* kurang aman dalam merespon gempa pada bangunan karena dalam 1 arah beban gempa, terdapat massa bangunan yang berada pada *strong axis* dan massa sebaliknya berada pada posisi *weak axis*.



Gambar 1. Denah Bangunan *Irregular*

Dengan dilatar belakangi hal tersebut, maka perlu dilakukan penelitian tentang Pengaruh Penempatan Arah Kolom pada Bangunan Bertingkat Banyak dengan Denah L Terhadap Kekakuan Struktur.

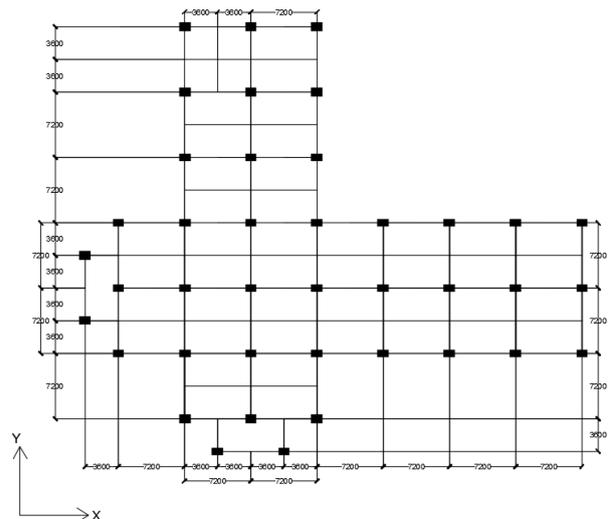
Penelitian ini mempunyai tujuan untuk mengetahui perbandingan kurva kapasitas dan nilai kekakuan efektif struktur gedung dengan konfigurasi bentuk L yang menggunakan penampang kolom persegi panjang dan penampang kolom bujur sangkar.

METODE

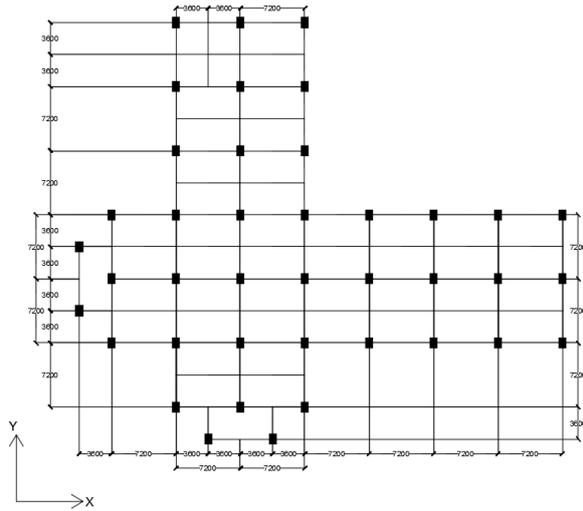
Data dalam penelitian ini merupakan data yang diasumsikan sendiri dan disesuaikan dengan persyaratan berdasarkan peraturan SNI 1726:2012 untuk perencanaan beban gempa, PPPURG 1987 untuk pembebanan gravitasi, serta SNI 2847:2013 untuk perencanaan dimensi elemen-elemen struktur. Mutu beton yang digunakan dalam perencanaan adalah 30 MPa. Baja tulangan untuk tulangan longitudinal menggunakan baja dengan kuat tarik 300 MPa dan tulangan tranvesal menggunakan baja dengan kuat tarik 240 MPa.

Model struktur gedung rangka beton bertulang dengan ketinggian 9 lantai dan tinggi antar lantai 3,9 m berfungsi sebagai hotel. Menggunakan respon spektrum wilayah Yogyakarta pada kondisi tanah sedang. Analisis struktur dilakukan dengan bantuan program ETABS 2013, dimodelkan dalam 3 Dimensi (3D) sebagai struktur *open frame*, tumpuan dimodelkan berperilaku sebagai jepit.

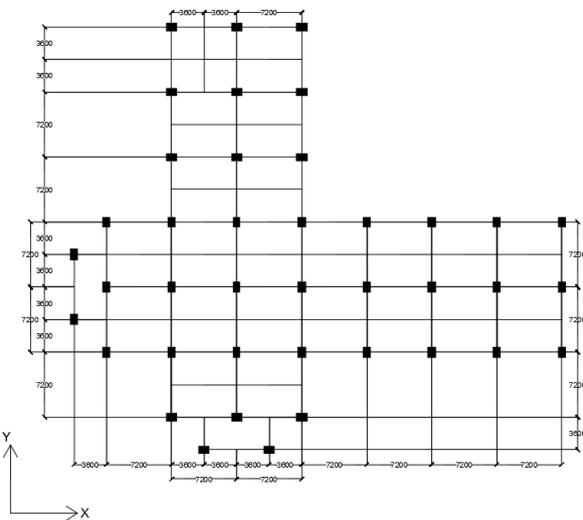
Objek yang digunakan dalam penelitian ini adalah empat buah bangunan dengan denah berbentuk L, masing-masing model menggunakan bentuk penampang kolom dan arah penempatan yang berbeda namun dengan luas penampang yang sama. Model 1 menggunakan penampang kolom persegi panjang ditempatkan memanjang pada arah X sumbu global bangunan, model 2 menggunakan penampang kolom persegi panjang ditempatkan memanjang pada arah Y sumbu global bangunan, model 3 menggunakan penampang kolom persegi panjang ditempatkan secara kombinasi, dan model 4 menggunakan penampang kolom bujur sangkar. Berikut gambar denah bangunan semua model yang dapat dilihat pada Gambar 2 hingga Gambar 5.



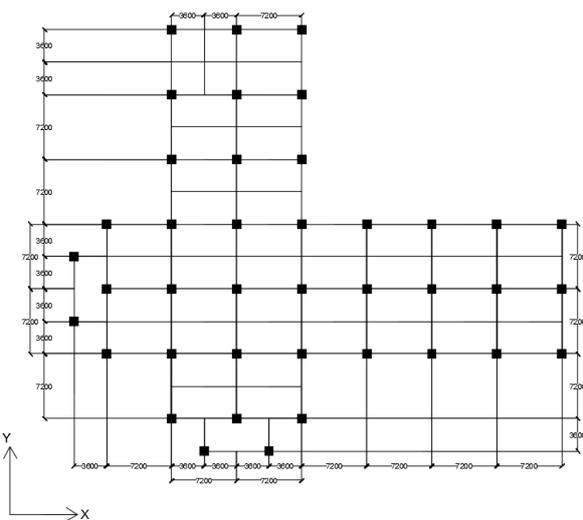
Gambar 2. Denah Bangunan Model 1



Gambar 3. Denah Bangunan Model 2



Gambar 4. Denah Bangunan Model 3



Gambar 5. Denah Bangunan Model 4

Analisis linier respon spektrum untuk *preliminary design*, kurva respon spektrum disain ditentukan dengan mengacu pada beberapa ketentuan pada SNI 1726:2012 Pasal 6.4.

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots(1)$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots(2)$$

1. Untuk $T < T_0$, digunakan persamaan berikut

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \dots\dots\dots(3)$$

2. Untuk perioda yang lebih besar dari T_0 tetapi lebih kecil dari T_S , maka $S_a = S_{DS}$.

3. Untuk perioda lebih besar dari T_S , digunakan persamaan berikut

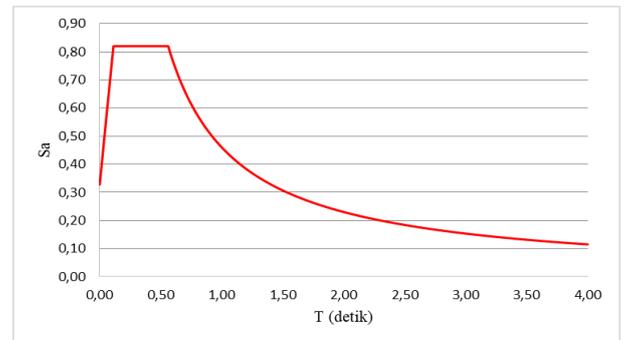
$$S_a = \frac{S_{DS}}{T} \dots\dots\dots(4)$$

dimana:

S_{DS} = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda pendek

S_{D1} = parameter respons spektral percepatan desain pada perioda 1 detik

T = perioda getar fundamental struktur



Gambar 6. Kurva Respon Spektrum

Kombinasi respons untuk geser dasar ragam (V_t) lebih kecil 85 persen dari geser dasar yang dihitung (V) menggunakan prosedur gaya statik ekuivalen, maka gaya harus dikalikan dengan $0,85 V/V_t$.

$$V = C_s W \dots\dots\dots(5)$$

$$C_{vx} = \sum_{i=1}^n \frac{w_x h_x^k}{w_i h_i^k} \dots\dots\dots(6)$$

$$F_x = C_{vx} V \dots\dots\dots(7)$$

dimana:

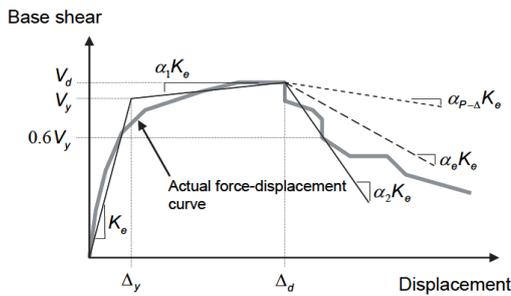
C_s = koefisien respons spektrum

W = berat seismik efektif

V = gaya lateral desain total

C_{vx} = faktor distribusi vertikal

Analisis statik nonlinier *pushover* digunakan untuk memperoleh kurva kapasitas menggambarkan hubungan gaya geser dasar perpindahan, kurva tersebut akan dimodifikasi menjadi kurva bilinear untuk mengetahui kekakuan efektif (K_e) struktur seperti terlihat pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7. Modifikasi Kurva Bilinier (FEMA 440, 2005)

Menurut Paulay dan Priestley (1992) Kekakuan merupakan kemiringan respon elastis linier pada beban sekitar 75%Vy karena nilai kekakuan efektif mendekati gaya geser pada saat leleh.

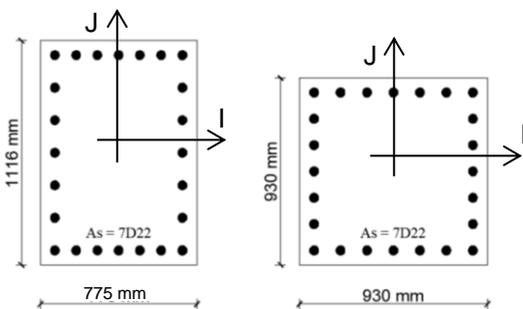
$$K_e = \frac{0,75 \times V_y}{0,75 \times \Delta_y} \dots \dots \dots (8)$$

dimana:

- Vy = geser saat leleh pertama
- Δy = simpangan saat leleh pertama

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk perhitungan estimasi dimensi kolom dilakukan dengan cara *trial-error* sehingga diperoleh estimasi dimensi yang sesuai persyaratan SNI 1726:2012, untuk kolom bujur sangkar dengan dimensi B = 930 mm dan H = 930 mm sedangkan untuk kolom persegi panjang dengan dimensi B = 755 mm dan H = 1116 mm.



Gambar 8. Penampang Kolom Persegi Panjang dan Bujur Sangkar

Dimensi kolom ini perlu dicek terhadap nilai inersia dalam kaitannya dengan nilai kekakuan elemen.

$$E = 4700 \times \sqrt{f'_c} = 25742,9602 \text{ MPa}$$

$$L_k = 3900 \text{ mm}$$

1. Kolom Persegi Panjang

$$I_{kj} = \frac{1}{12} \times 775 \times 1116^3 = 89766241200,00 \text{ mm}^4$$

$$k_{kj} = \frac{EI_{kj}}{L_k} = \frac{2,311 \times 10^{15}}{3900} = 5,925 \times 10^{11} \text{ N/mm}$$

$$I_{ki} = \frac{1}{12} \times 1116 \times 775^3 = 43290046875,00 \text{ mm}^4$$

$$k_{ki} = \frac{EI_{ki}}{L_k} = \frac{1,114 \times 10^{15}}{3900} = 2,857 \times 10^{11} \text{ N/mm}$$

Dapat dilihat pada kolom persegi panjang nilai inersia arah memanjang pada penampang kolom yang disimbolkan dengan I_{kj} lebih besar daripada nilai inersia arah memendek pada penampang kolom yang disimbolkan dengan I_{ki} sehingga pada arah memanjang kolom nilai kekakuan juga lebih besar dibanding arah memendek kolom.

2. Kolom Bujur Sangkar

$$I_{kj} = \frac{1}{12} \times 930 \times 930^3 = 62337667500,00 \text{ mm}^4$$

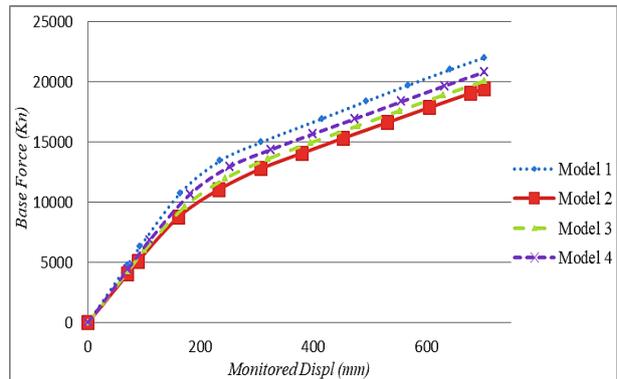
$$k_{kj} = \frac{EI_{kj}}{L_k} = \frac{1,605 \times 10^{15}}{3900} = 4,115 \times 10^{11} \text{ N/mm}$$

$$I_{ki} = I_{kj} = 62337667500,00 \text{ mm}^4$$

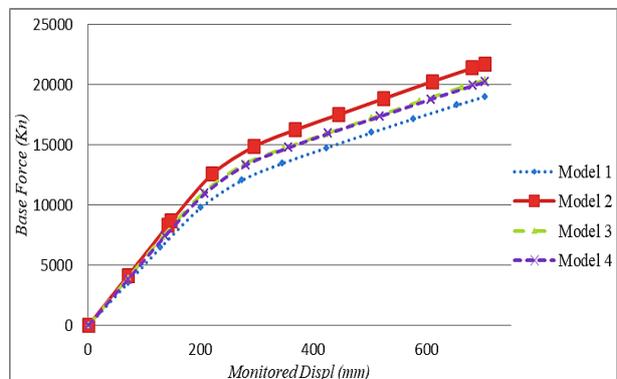
$$k_{ki} = k_{kj} = 4,115 \times 10^{11} \text{ N/mm}$$

Pada kolom bujur sangkar nilai inersia pada kedua arah penampang kolom yang disimbolkan dengan I_{kj} dan I_{ki} sama besar, sehingga nilai kekakuan juga sama besar pada kedua arah.

Hasil *pushover analysis* yaitu berupa kurva kapasitas kemudian akan diperoleh hasil lain berupa nilai daktilitas simpangan. Berikut merupakan perbandingan kurva kapasitas hasil *pushover analysis* dari semua model yang ditinjau pada arah x dan arah y.



Gambar 9. Perbandingan Kurva Kapasitas Arah X Semua Model



Gambar 10. Perbandingan Kurva Kapasitas Arah Y Semua Model

Besarnya gaya geser dasar dan simpangan pada titik acuan untuk semua model dapat dilihat pada Tabel 1 hingga Tabel 4 berikut.

Tabel 1. Gaya dan Simpangan Model 1

S T E P	Model 1			
	Arah X		Arah Y	
	Displ	Base Force	Displ	Base Force
	(mm)	(Kn)	(mm)	(Kn)
0	0,8	0,0	1,5	0,0
1	71,0	4815,5	71,7	3556,5
2	93,1	6333,4	129,4	6479,3
3	163,7	10747,8	200,5	9780,7
4	234,4	13451,2	272,9	12051,4
5	307,5	14995,6	345,1	13467,0
6	414,7	16946,1	423,6	14762,0
7	492,9	18385,4	503,1	16027,5
8	568,0	19737,9	576,9	17163,5
9	642,4	21028,6	653,5	18296,1
10	702,8	22035,4	703,5	19013,1

Tabel 2. Gaya dan Simpangan Model 2

S T E P	Model 2			
	Arah X		Arah Y	
	Displ	Base Force	Displ	Base Force
	(mm)	(Kn)	(mm)	(Kn)
0	0,8	0,0	1,4	0,0
1	71,0	4058,2	71,6	4152,3
2	89,1	5101,5	141,8	8304,7
3	161,1	8793,3	148,3	8691,4
4	232,5	11073,0	220,5	12566,1
5	307,7	12815,6	295,2	14868,7
6	380,1	14097,6	367,7	16257,6
7	452,9	15344,0	444,7	17529,7
8	531,1	16646,4	525,0	18864,8
9	605,0	17884,1	610,8	20279,3
10	678,1	19069,1	681,7	21388,3
11	702,8	19449,5	703,4	21717,3

Tabel 3. Gaya dan Simpangan Model 3

S T E P	Model 3			
	Arah X		Arah Y	
	Displ	Base Force	Displ	Base Force
	(mm)	(Kn)	(mm)	(Kn)
0	0,8	0,0	1,4	0,0
1	71,0	4247,1	71,6	3944,8
2	100,2	6011,6	132,9	7391,0
3	172,1	9650,5	205,6	11055,5
4	243,1	11972,6	277,2	13397,4
5	319,1	13606,3	347,5	14713,7
6	394,2	14941,6	421,7	15939,0
7	478,6	16371,7	502,5	17224,1
8	552,7	17620,4	587,8	18619,1
9	629,9	18911,6	663,2	19810,6
10	702,8	20085,5	703,4	20412,1

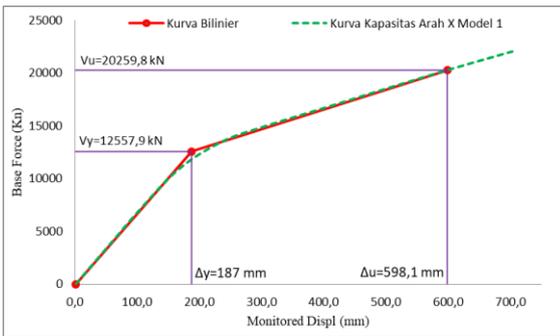
Tabel 4. Gaya dan Simpangan Model 4

S T E P	Model 4			
	Arah X		Arah Y	
	Displ	Base Force	Displ	Base Force
	(mm)	(Kn)	(mm)	(Kn)
0	0,8	0,0	1,4	0,0
1	71,0	4412,8	71,6	3837,4
2	110,1	6870,3	137,1	7417,8
3	181,7	10693,8	207,5	10951,0
4	252,1	12983,8	280,3	13327,0
5	324,1	14376,2	355,8	14765,3
6	399,3	15688,4	426,4	15946,7
7	473,2	16941,5	517,6	17375,0
8	555,7	18369,9	608,2	18798,4
9	631,8	19672,8	682,9	19935,5
10	702,3	20819,2	703,4	20238,5
11	702,8	20826,4		

Berdasarkan hasil diatas, analisis *pushover* pada semua model berhenti pada target perpindahan yang telah ditentukan sebesar 2% dari tinggi bangunan (702 mm).

Pada model 3 dimana kolom persegi panjang ditempatkan secara kombinasi memanjang arah y untuk bentang yang memanjang arah x dan penempatan kolom memanjang arah x untuk bentang yang memanjang arah y, Akibat *pushover* arah x dapat menahan gaya geser dasar sebesar 20085,5 kN pada arah y dapat menahan gaya geser dasar sebesar 20412,1 kN. Berbeda dengan model lain, pada model 3 gaya geser dasar dapat ditahan secara optimal pada kedua arah, artinya tidak besar di satu arah tetapi juga tidak kecil di arah lainnya. Hal ini terjadi karena bagian memanjang pada penampang kolom persegi panjang yang memiliki kekakuan yang besar, ditempatkan memanjang pada bentang struktur yang pendek yang kurang kaku. Begitu pada arah sebaliknya sehingga struktur dapat menahan gaya geser yang besar dan optimal di kedua arah.

Besarnya nilai kekakuan efektif semua model diperoleh dari modifikasi kurva kapasitas menjadi kurva bilinear, modifikasi dapat dilakukan dengan metode *displacement modification* (FEMA 440) yang sudah *built-in* pada program ETABS 2013, terlebih dahulu dilakukan input parameter percepatan gempa pada perioda pendek 0,2 detik (S_s) serta parameter percepatan gempa pada perioda 1 detik (S_1) sesuai dengan SNI 1726:2012. Hasil modifikasi kurva bilinear pada model 1 arah x diperlihatkan pada Gambar 11 berikut.



Gambar 11. Modifikasi Kurva Bilinier Arah X Model 1

Berdasarkan Gambar diatas dapat diketahui untuk pembebanan arah x kondisi leleh tercapai pada saat gaya lateral $V_y = 12558,0$ kN dan menghasilkan simpangan $\Delta y = 187$ mm, sehingga dapat diperoleh nilai kekakuan efektif melalui persamaan berikut.

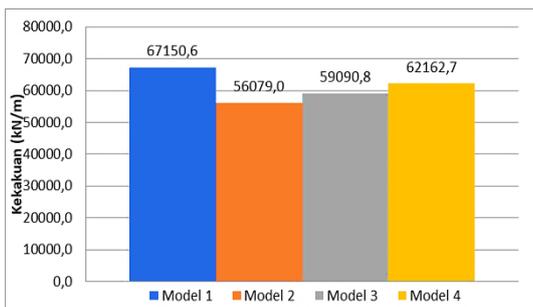
$$K_e = \frac{0,75 \times V_y}{0,75 \times \Delta y} = \frac{0,75 \times 12558,0}{0,75 \times 187} = 67150,6 \text{ kN/m}$$

Untuk model lain, nilai daktilitas simpangan dihitung dengan cara yang sama sehingga perhitungan daktilitas simpangan model 1 hingga 4 arah x dan arah y dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

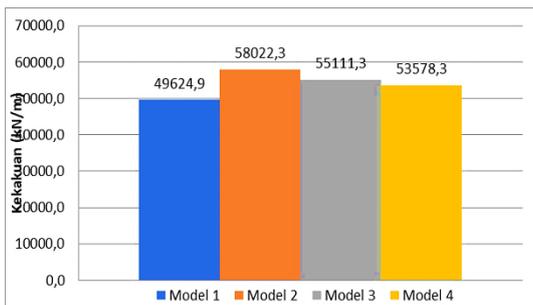
Tabel 5. Kekakuan Efektif Semua Model

Arah	Ke (kN/m)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
X	67150,6	56079	59090,8	62162,7
Y	49624,9	58022,3	55111,3	53578,3

Perbandingan nilai kekakuan dari semua model yang ditinjau pada arah x dan arah y yang dapat dilihat pada Gambar 12 dan Gambar 13.



Gambar 12. Perbandingan Kekakuan Semua Model Pada Arah X



Gambar 13. Perbandingan Kekakuan Semua Model Pada Arah Y

Model yang memiliki nilai kekakuan paling besar pada arah x dibandingkan dengan model yang lainnya adalah model 1 dimana pada model tersebut menggunakan kolom persegi panjang ditempatkan memanjang arah x sumbu global bangunan sebesar 67150,625 kN/m. Berdasarkan Gambar 13 dapat disimpulkan model yang memiliki nilai kekakuan paling besar pada arah y dibandingkan dengan model yang lainnya adalah model 2 dimana menggunakan kolom persegi panjang ditempatkan memanjang arah y sumbu global bangunan sebesar 58022,3 kN/m.

Berdasarkan Gambar 12 dan Gambar 13, dapat disimpulkan bahwa model 3 dimana penempatan kolom persegi panjang dikombinasikan memanjang arah y untuk bentang yang memanjang arah x dan penempatan kolom memanjang arah x untuk bentang yang memanjang arah y, menunjukkan kekakuan secara optimal pada kedua arah dengan nilai kekakuan pada arah x sebesar 59090,788 kN/m dan nilai kekakuan pada arah y sebesar 55111,289 kN/m, artinya tidak besar di satu arah tetapi juga tidak kecil di arah lainnya.

Hal ini terjadi karena bagian memanjang pada penampang kolom persegi panjang yang memiliki inersia besar akan memberikan kekakuan yang besar, ditempatkan memanjang pada bentang struktur yang pendek dimana memiliki inersia yang kecil dan kurang kaku sehingga kekakuan dapat optimal di kedua arah.

Pada model 4 dimana digunakan kolom bujur sangkar menunjukkan nilai kekakuan pada arah x sebesar 62162,7 kN/m lebih besar daripada kekakuan arah y sebesar 53578,3 kN/m, hal ini karena penampang kolom di kedua arah memiliki inersia yang sama sehingga nilai kekakuan dipengaruhi dari bentang struktur dimana bentang struktur memanjang pada arah x sehingga lebih kaku dibandingkan arah sebaliknya yaitu arah y.

KESIMPULAN

Pada model 3 dimana penempatan kolom persegi panjang dikombinasikan memanjang arah y untuk bentang yang memanjang arah x dan penempatan kolom memanjang arah x untuk bentang yang memanjang arah y, menunjukkan gaya geser dasar dan kekakuan efektif secara optimal pada kedua arah dibandingkan dengan model lainnya, artinya tidak besar di satu arah tetapi juga tidak kecil di arah lainnya.

Hal ini terjadi karena bagian memanjang pada penampang kolom persegi panjang yang memiliki inersia besar akan memberikan kekakuan yang besar, ditempatkan memanjang pada bentang struktur yang pendek dimana memiliki inersia yang kecil dan kurang kaku sehingga kekakuan dapat optimal di kedua arah. Berdasarkan tinjauan nilai kekakuan tersebut, maka penempatan kolom persegi panjang secara kombinasi dianjurkan terhadap dengan denah bentuk L.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dan memberi dukungan dalam penelitian ini.

Teknik Sipil Vol.20 No.1, Universitas Udayana,
Bali.

Widodo, 2012, *Seismologi Teknik dan Rekayasa
Kegempaan, Universitas Islam Indonesia,*
Yogyakarta.

DAFTAR PUSTAKA

Arnold, C., Reitherman, R., 1982, *Building
Configuration and Seismic Design*, John Wiley &
SONs, New York.

Asroni, Ali. 2010, *Kolom, Fondasi dan Balok T Beton
Bertulang*, Graha Ilmu, Yogyakarta.

Badan Standarisasi Nasional, 2012, *Tata cara
perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan
gedung. (SNI 03-1726-2012)*, Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional, 2013, *Tata cara
perhitungan struktur beton untuk bangunan
gedung. (SNI 03-2847-2013)*, Jakarta.

Departemen Pekerjaan Umum, 1987, *Perancangan
Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung
(PPPURG)*. Jakarta.

Dewi, A.N.K., 2017, *Evaluasi Kinerja Seismik Gedung
Rusunawa Jongke Dengan Analisis Pushover
Menggunakan Program SAP2000*, Tugas Akhir,
Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Ertanto, R., Giri, D., dan Putra, D., 2015, *Analisa
Perbandingan Perilaku Struktur Pada Gedung
dengan Variasi Bentuk Penampang Kolom Beton
Bertulang*, Jurnal Ilmiah Elektronik Infrastruktur
Teknik Sipil, Universitas Udayana.

American Society of Civil Engineers, 2005,
*Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis
Procedures*, Federal Emergency Management
Agency (FEMA 440), Virginia.

Fransisca, D.M., 2016, *Studi Performa Struktur Gedung
Bertingkat Ketidakberaturan Torsi Berdasarkan
Perencanaan Urutan Sendi Plastis Dengan
Pushover Analysis*, Tugas Akhir, Universitas
Mercuri Buana, Jakarta.

Krisnamurti, Wiswamitra, K.A., dan Kriswardhana, W.,
2013, *Pengaruh Variasi Bentuk Penampang
Kolom Terhadap Perilaku Elemen Struktur Akibat
Beban Gempa*, Jurnal Rekayasa Sipil Vol.7 No.1,
Universitas Jember, Jember.

Paulay, T., Priestly, M.J.N., 1992, *Seismic Design of
Reinforced Concrete and Masonry Buildings*, John
Wiley & SONs, New York.

Sudarsana, K., Putra, D.A.A., Dewi, A.I.L., 2011,
*Pengaruh Bentuk Penampang Kolom Terhadap
Kinerja Struktur Beton Bertulang*, Jurnal Ilmiah